

MATLAB EXPO

使用仿真优化电动汽车电池性能

齐卓锟, MathWorks 中国



关键点

使用仿真优化电动汽车电池性能



主要内容

使用仿真优化电动汽车电池性能

- 问题陈述
- 评估系统性能
- 最佳电池包尺寸优化
- 电池包设计
- 结论



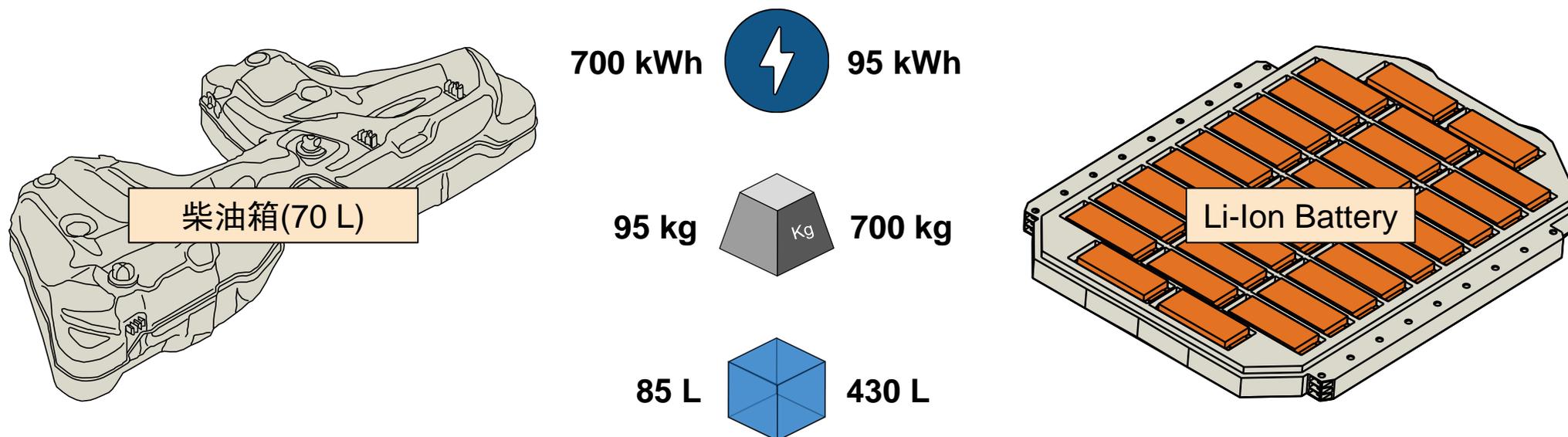
问题陈述：动力总成的电气化

当前的挑战

汽车行业正致力于减少二氧化碳排放。为此，电池电动汽车（BEV）是一个有前途的解决方案：

- 将排放定位到能源来源
- 使用可再生能源充电

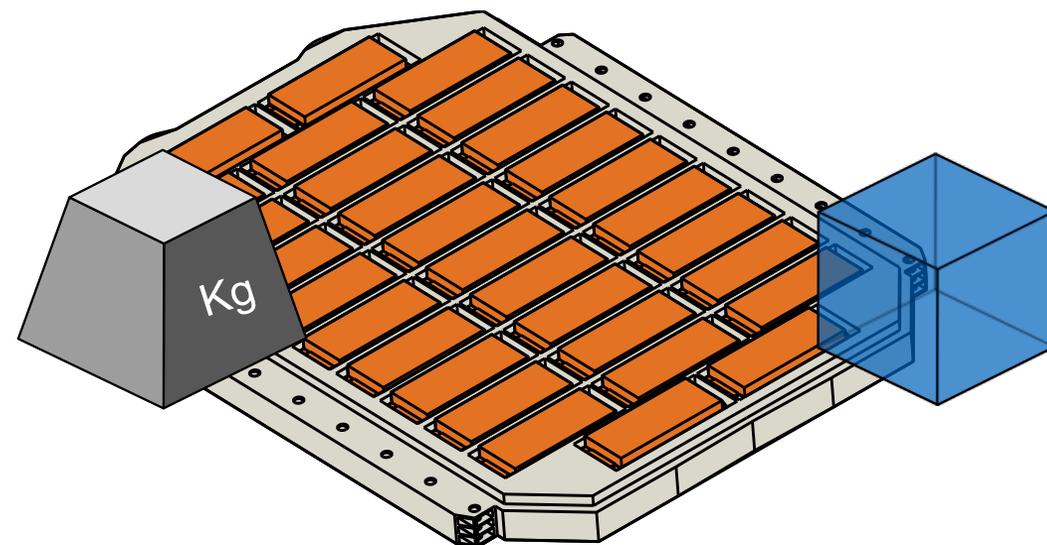
然而，**工程挑战**依然存在...



问题陈述：动力总成的电气化

当前的挑战

- 电池会影响**车辆重量**和其他关键的系统级规格
 - 成本
 - 续航里程
 - 加速性能
- 电池的集成是一个重大挑战
- 今天的目标是展示如何使用MathWorks产品来：
 1. 创建BEV模型（并评估车辆性能）
 2. 优化电池组尺寸
 3. 电池包详细设计



主要内容

使用仿真优化电动汽车电池性能

- 问题陈述
- **评估系统性能**
- 最佳电池包尺寸优化
- 电池包设计
- 结论



创建 BEV 模型

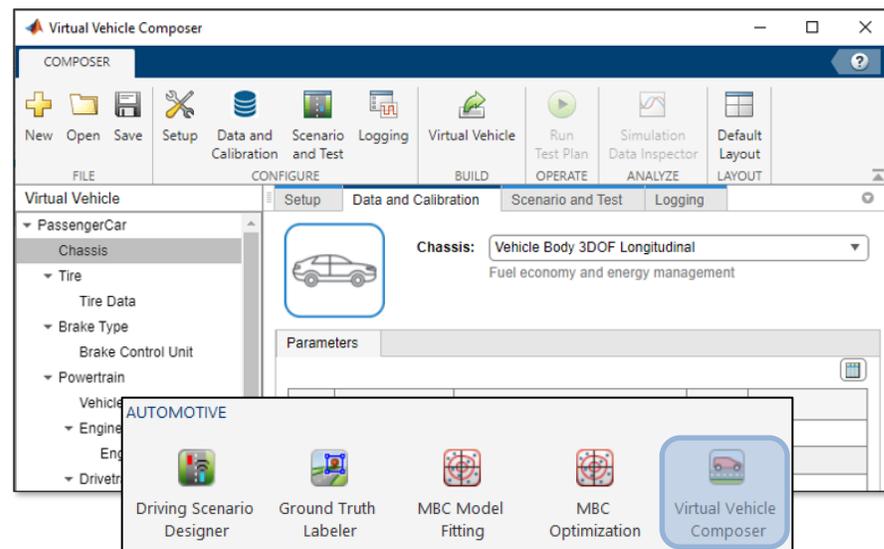
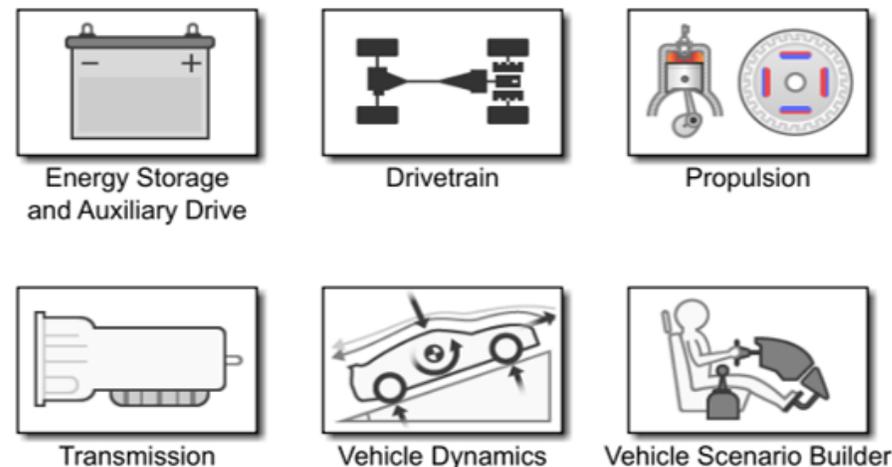
使用 Powertrain Blockset™

使用 Powertrain Blockset 创建车辆模型

- 内置汽油、柴油、混合动力和电动等不同系统的模块
- 提供可在整个开发过程中重用的标准模型体系结构
- 权衡分析、组件尺寸调整和优化的理想选择

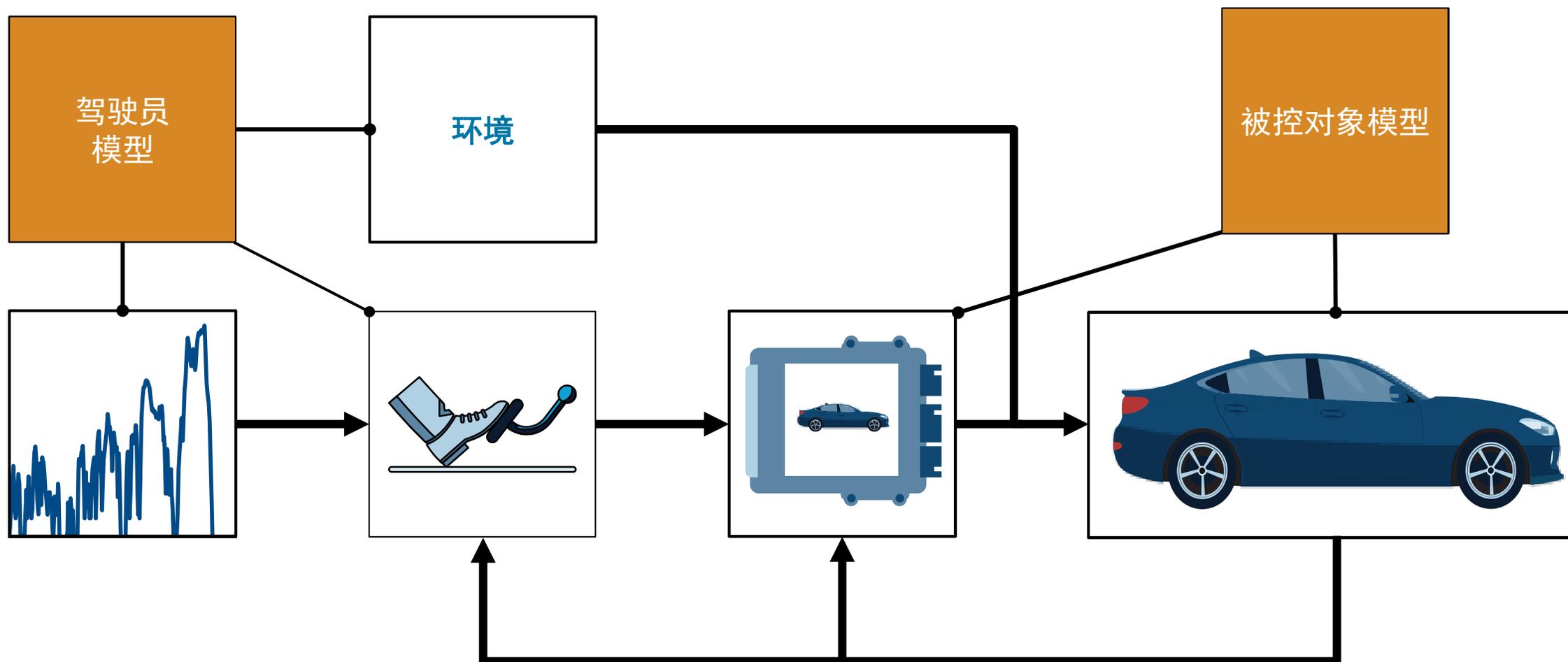
使用 Virtual Vehicle Composer 生成车辆模型

- 交互式应用程序
- 多个预建整车模型模板
- 轻松实现组件参数化
- 生成整车模型



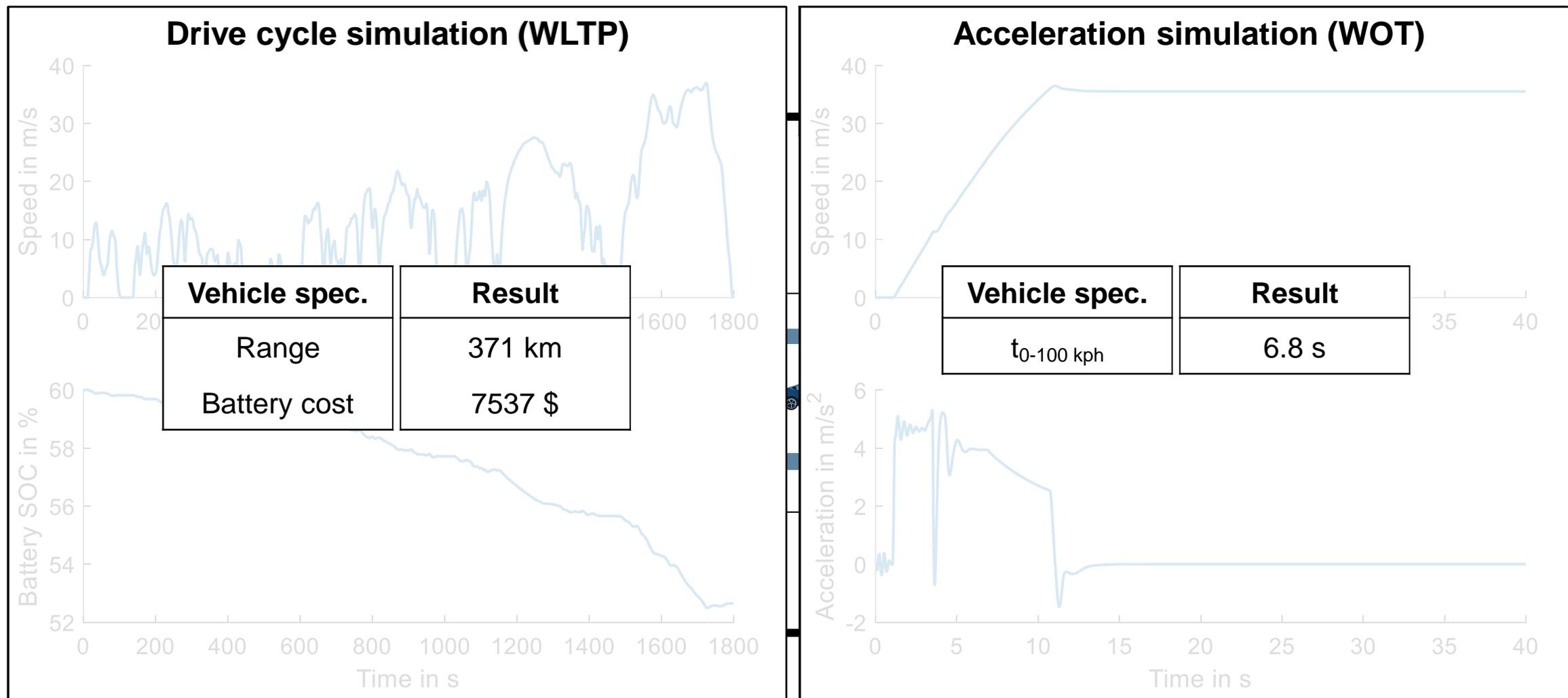
整车模型概述

使用 Virtual Vehicle Composer 自动生成



整车模型概述

初始评估, 中型电动乘用车



主要内容

使用仿真优化电动汽车电池性能

- 问题陈述
- 评估系统性能
- **最佳电池包尺寸优化**
- 电池包设计
- 结论



问题陈述

目标、约束条件和设计变量

给定车辆模型，定义优化问题：

- 目标：

$$\text{minimize } f(x) = w_1 * \text{Cost} - w_2 * \text{Range}$$

- 约束条件：

$$g_1: \text{DriveCycleFault} \leq 0$$

$$g_2: \text{Range} \geq 400 \text{ km}$$

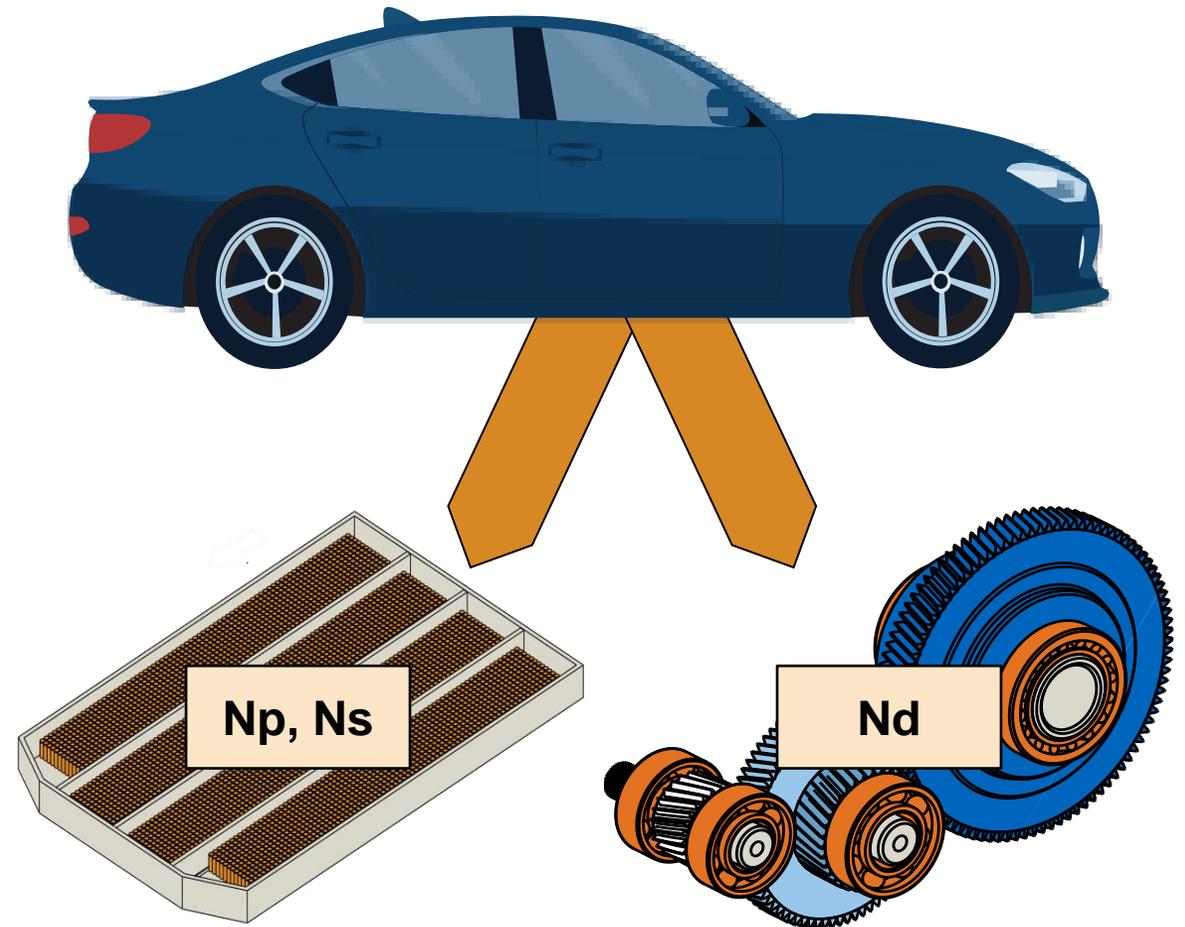
$$g_3: t_{0-100 \text{ kph}} \leq 7 \text{ s}$$

- 设计变量：

$$x_1: 10 \leq N_p \leq 50 \text{ (Integer)}$$

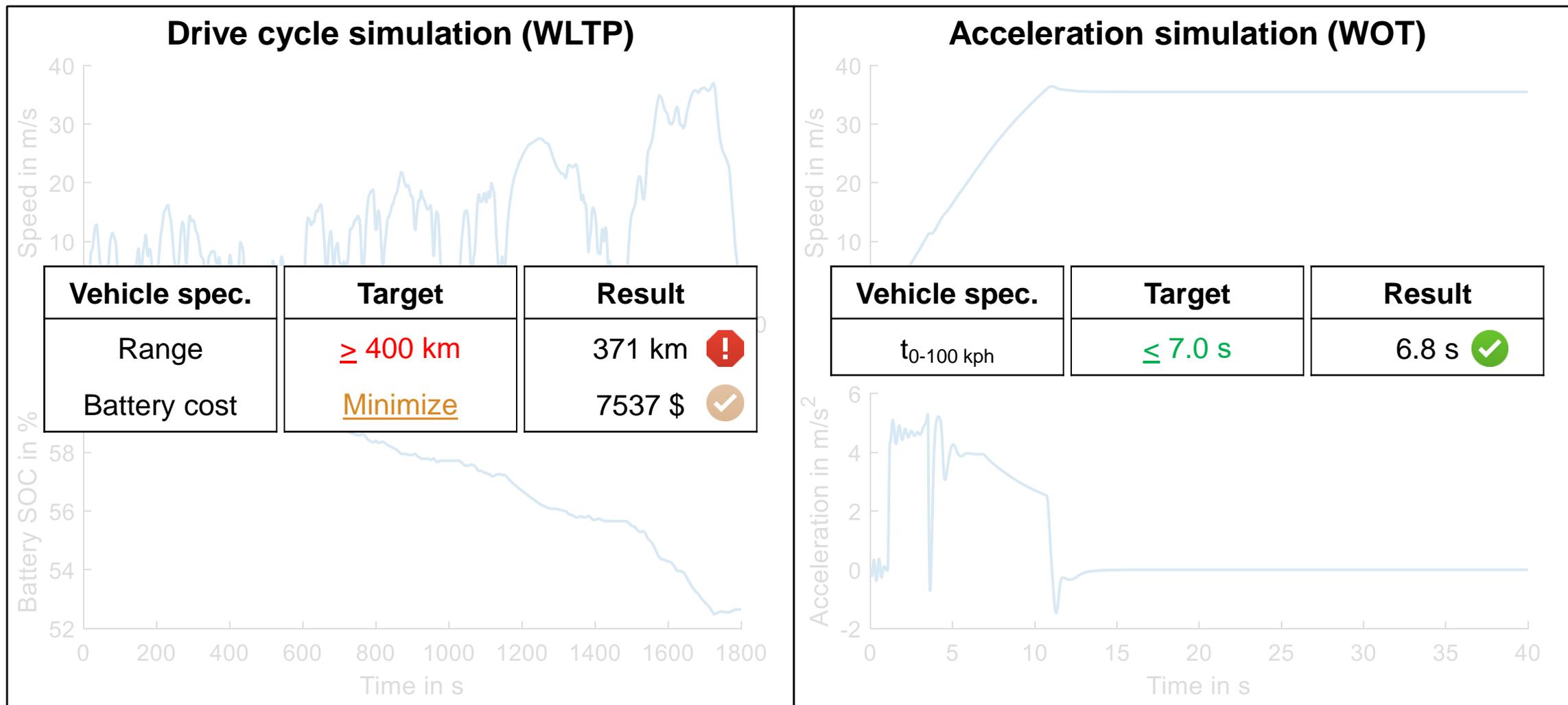
$$x_2: 80 \leq N_s \leq 140 \text{ (Integer)}$$

$$x_3: 7 \leq N_d \leq 10 \text{ (Continuous)}$$



与初始评估的比较

不满足续航里程约束



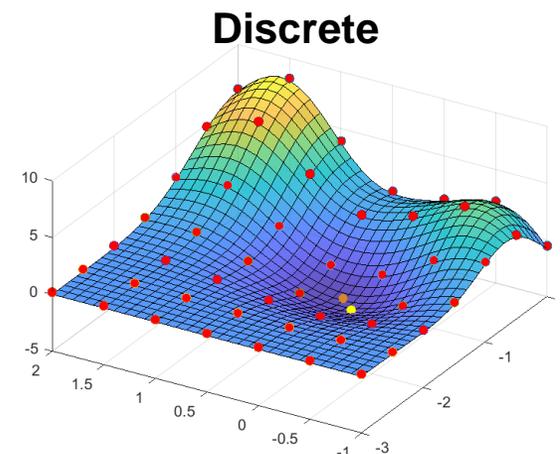
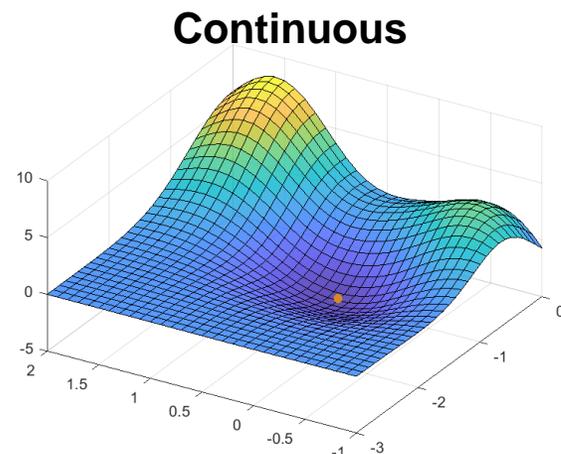
优化算法

选择合适的优化器

选择合适的优化算法必须考虑不同的需求

设计变量空间

- 连续的
- 整数 (离散)
- 混合整数
- 局部/全局搜索空间
 - Optimization Toolbox (local)
 - Global Optimization Toolbox



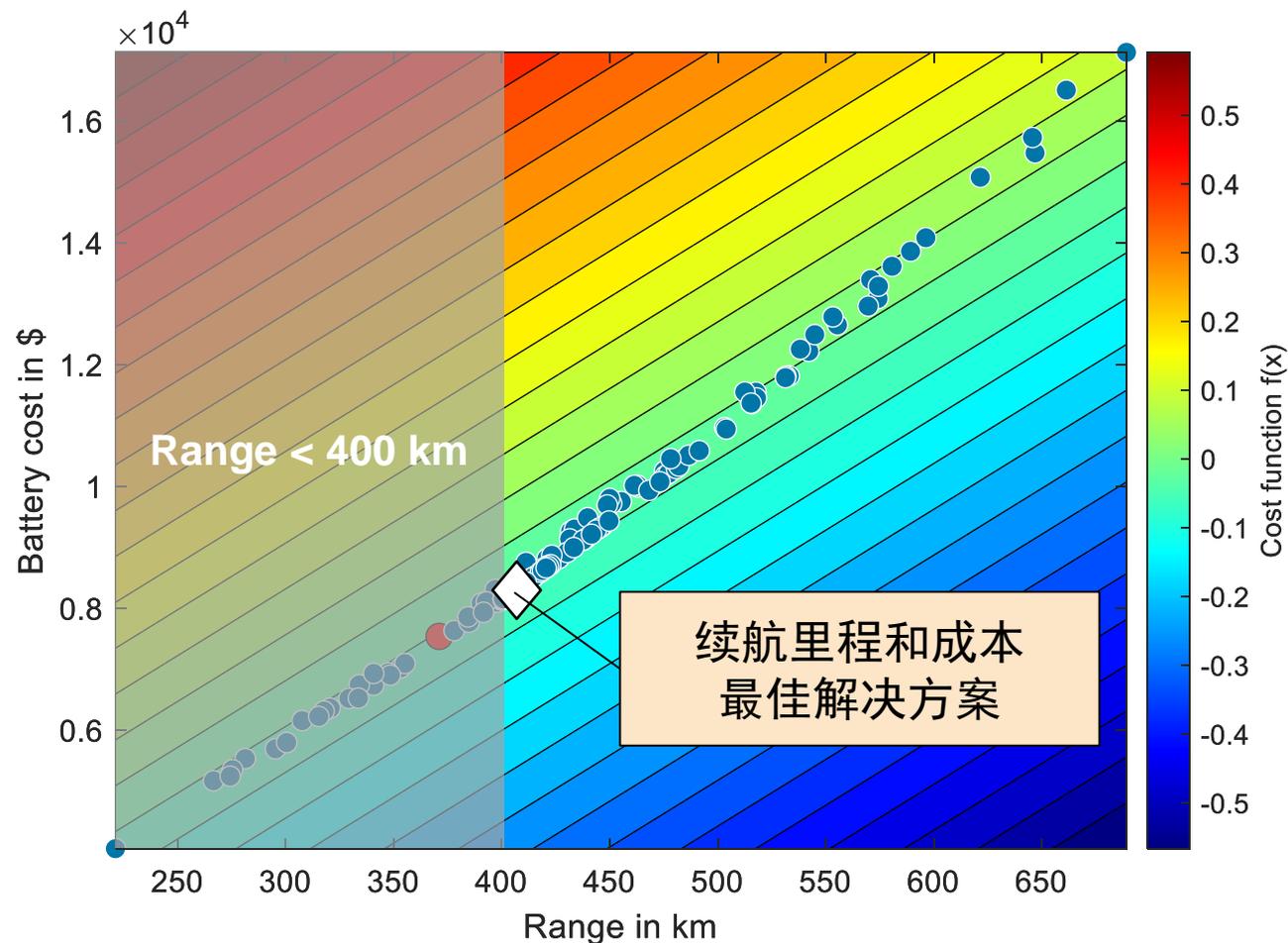
对于此问题，选择了 surrogate optimization (surrogateopt) 算法

- 与其他全局优化求解器相比，使用更少的函数调用
- 自动建立廉价评估代理模型
- 搜索全局解决方案
- 可以使用连续变量和整数变量

$$\min f(x) \text{ such that } \left\{ \begin{array}{l} LB \leq x \leq UB \\ Ax \leq b \\ Ax_{eq} = b_{eq} \\ c(x) \leq 0 \end{array} \right.$$

优化结果

比较初始评估和最佳解决方案



Variable	Initial assessment	Optimal solution
Range	371 km	406 km
Battery cost	7537 \$	8279 \$
t_{0-100} kph	6.8 s	6.8 s
Nd	9	7
Ns, Np	96s31p	91s36p
Bus voltage	357.8 V	339.2 V
Capacity	60.3 kWh	66.3 kWh

该算法执行了 300 次函数调用，
并在 2.5 小时内收敛
(未使用并行计算)

主要内容

使用仿真优化电动汽车电池性能

- 问题陈述
- 评估系统性能
- 最佳电池包尺寸优化
- **电池包设计**
- 结论



电池设计研究工作流程

Simscape Battery

1

在全系统运行环境中确定电池包尺寸

2

创建集总电池包模型并演示等效性

3

使用
Simscape Battery
设计电池系统

4

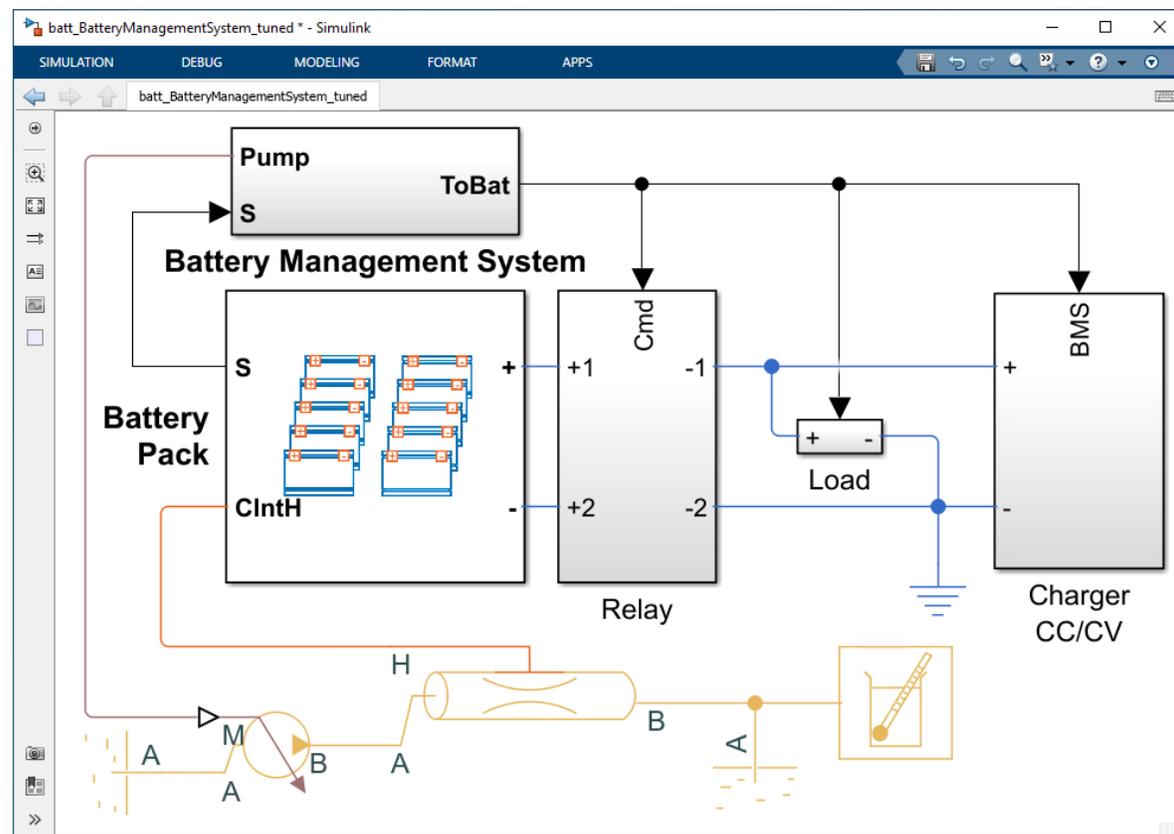
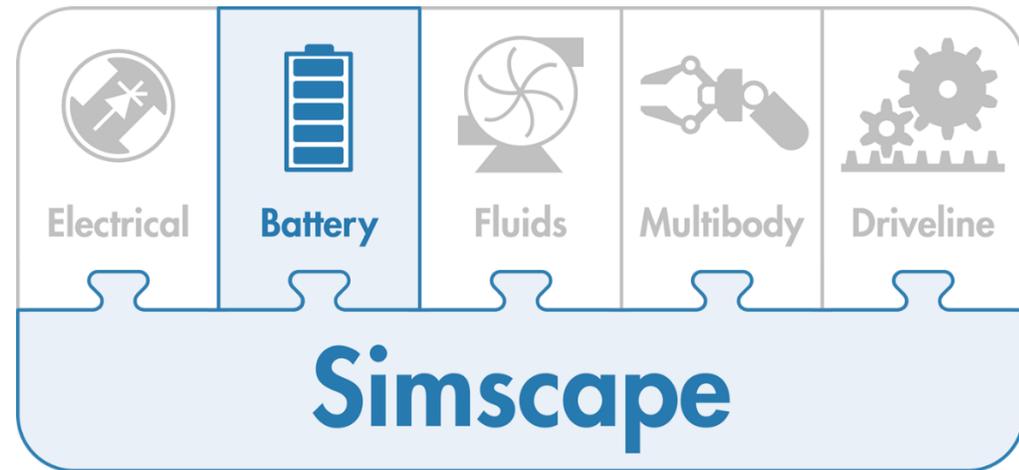
为完整系统评估选择合适的模型精度

5

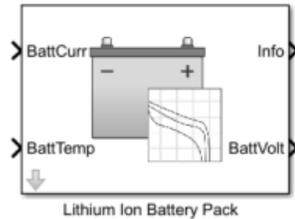
评估整个系统中的
电池设计

Simscape Battery

- 设计和仿真电池和储能系统
 - 电池电热特性
 - 电池包设计
 - 电池管理系统(BMS)
- 使用Simscape Battery, 可以
 - 从电气和发热方面评估电池包架构
 - 验证放电、充电和热管理算法
 - 使用 HIL 测试验证算法



使用Simscape Battery创建集总电池模型



Block Parameters: Lithium Ion Battery Pack

Datasheet Battery (mask)

Implements a model for a lithium ion, lithium polymer, or lead acid battery based off of discharge characteristics taken at different temperatures. The model can be parameterized using a typical battery datasheet or through experimental measurement.

Block Options

Initial battery capacity: Parameter

Output battery voltage: Unfiltered

Parameters

Rated capacity at nominal temperature, BattChargeMax [Ah]: BattChargeMax

Open circuit voltage table data, Em [V]: Em*1 <100x1 double>

Open circuit voltage breakpoints 1, CapLUTBp []: CapLUTBp <1x100 double>

Internal resistance table data, RInt [Ohms]: RInt <4x100 double>

Battery temperature breakpoints 1, BattTempBp [K]: BattTempBp [263.15,273.1...]

Battery capacity breakpoints 2, CapSOCBp []: CapSOCBp <1x100 double>

Number of cells in series, Ns []: Ns 96

Number of cells in parallel, Np []: Np 31

Initial battery capacity, BattCapInit [Ah]: BattCapInit*BattSocInit/.75

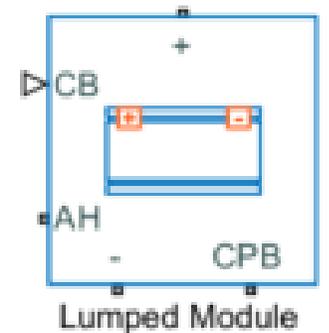


Block Parameters: Lumped Module

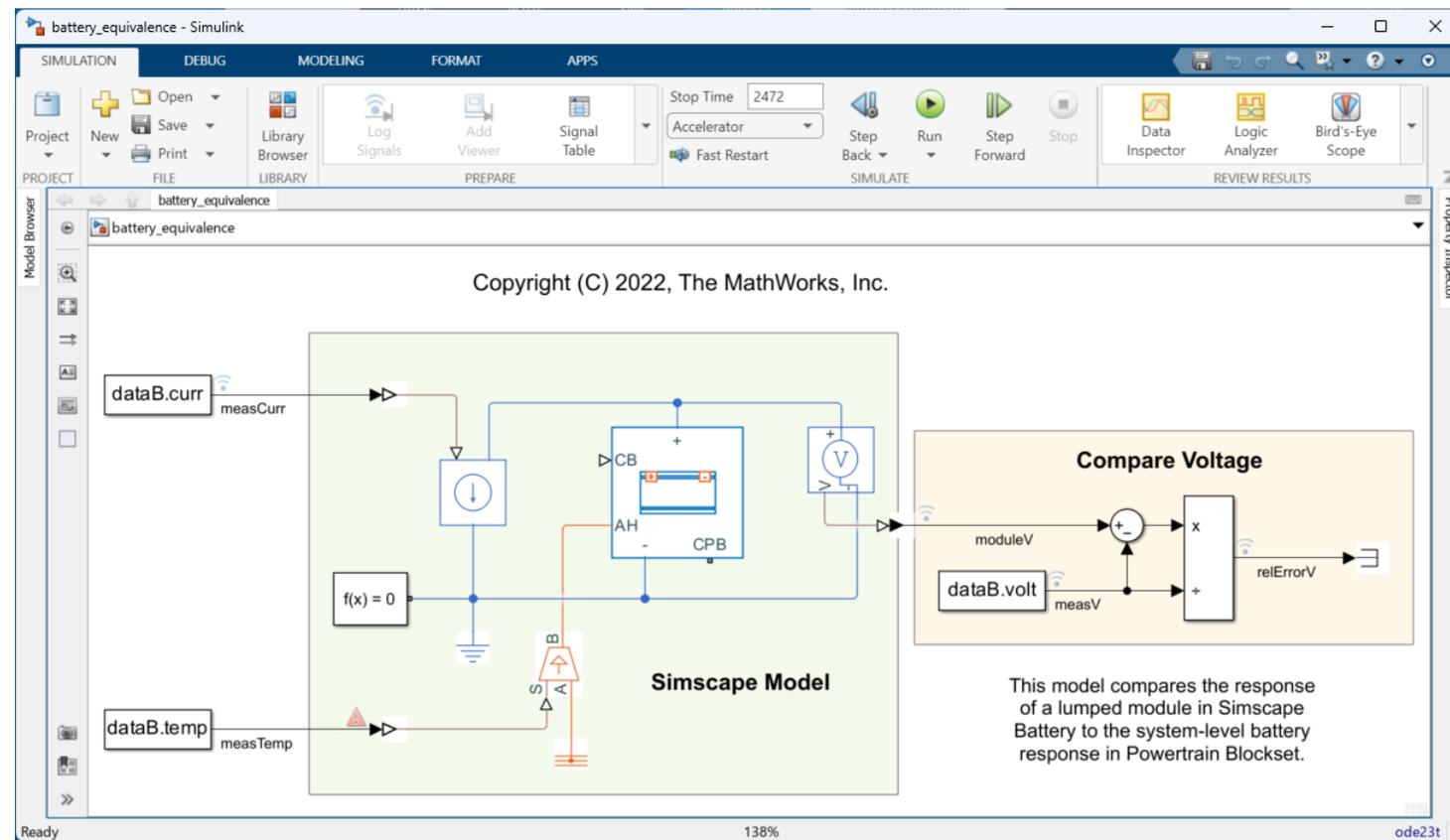
Module1

Settings Description

NAME	VALUE
Main	
> Vector of state-of-charge values, SOC	CapSOCBp
> Vector of temperatures, T	BattTempBp K
> Open-circuit voltage, V0(SOC,T)	repmat(Em,1,4) V
> Terminal voltage operating range [Min Max]	[0, inf] V
> Terminal resistance, R0(SOC,T)	RInt' Ohm
> Cell capacity, AH	BattChargeMax A*hr
Extrapolation method for all tables: Nearest	
Thermal	
> Thermal mass	100 J/K
> Cell level coolant thermal path resistance	1.2 K/W
> Cell level ambient thermal path resistance	25 K/W
Cell Balancing	
> Cell balancing switch closed resistance	0.01 Ohm
> Cell balancing switch open conductance	1e-8 1/Ohm
> Cell balancing switch operation threshold	0.5
> Cell balancing shunt resistance	50 Ohm
Initial Targets	
> <input type="checkbox"/> Cell model current (positive in)	
> <input type="checkbox"/> Cell model terminal voltage	
> <input checked="" type="checkbox"/> Cell model state of charge	
Priority	High
Value	0.75 1



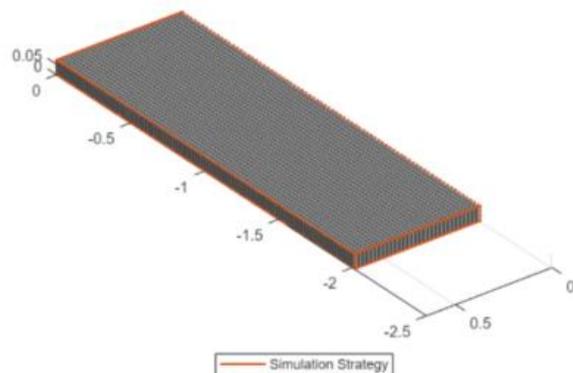
通过单元测试证明等效性



在 Simscape Battery 中设计电池系统

- 创建更细颗粒度的电池组

Lumped (整个电池包表示为一个电池)



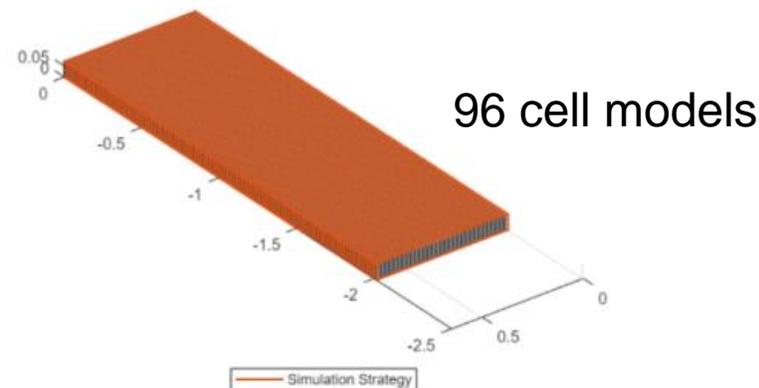
Define module

```
Ns = 96; % number of parallel assemblies in series  
batteryModule = Module(ParallelAssembly = batteryParallelAssembly, numSeriesAssemblies = Ns);
```

Define simulation strategy

```
batteryModule.ModelResolution = "Lumped";
```

Grouped (一个并联组件表示为一个电池)



Define module

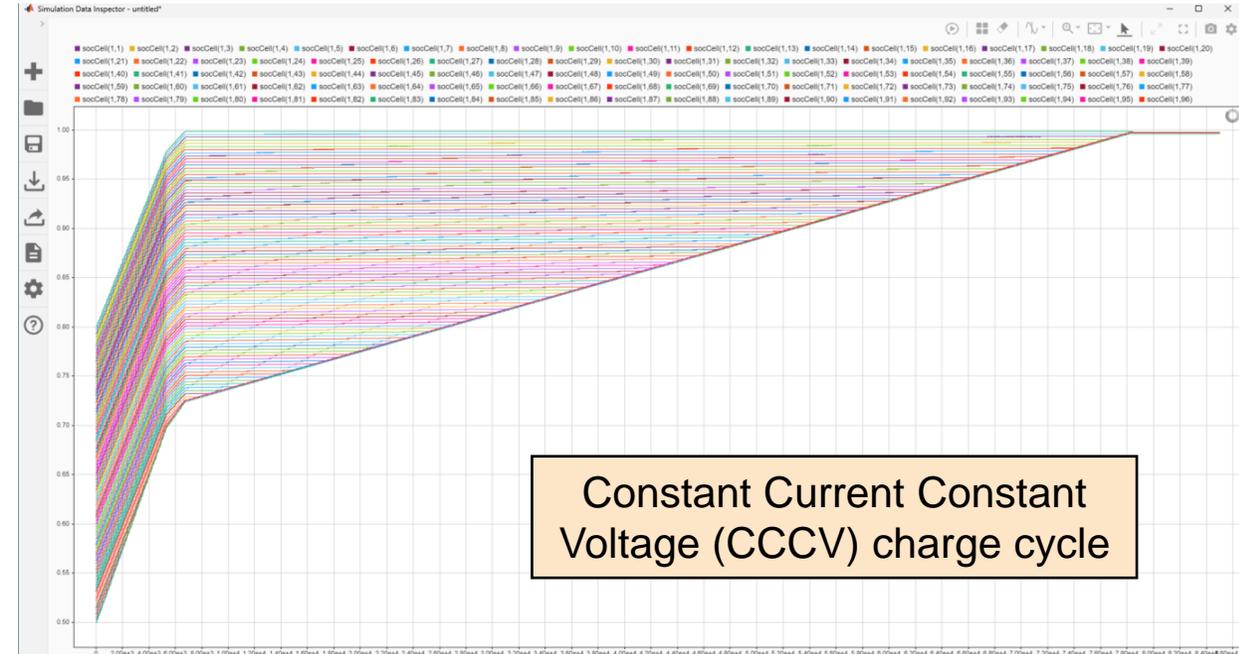
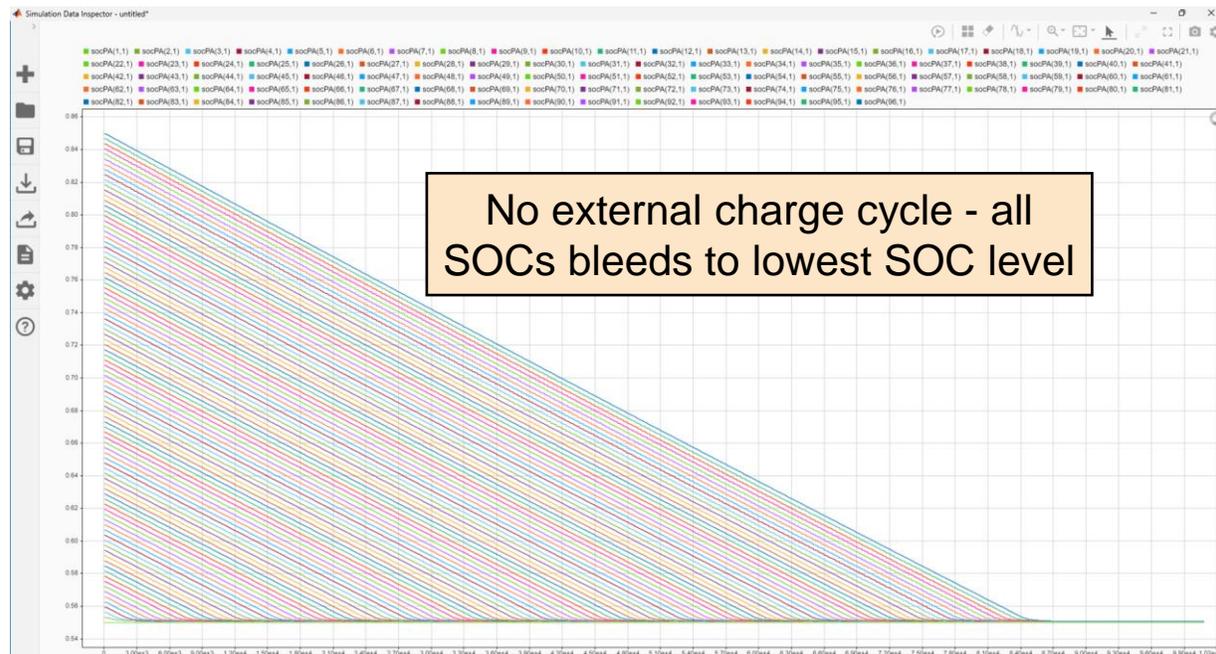
```
Ns = 96; % number of parallel assemblies in series  
batteryModule = Module(ParallelAssembly = batteryParallelAssembly, numSeriesAssemblies = Ns);
```

Define simulation strategy

```
batteryModule.ModelResolution = "Grouped";  
batteryModule.SeriesGrouping = ones(1,Ns);
```

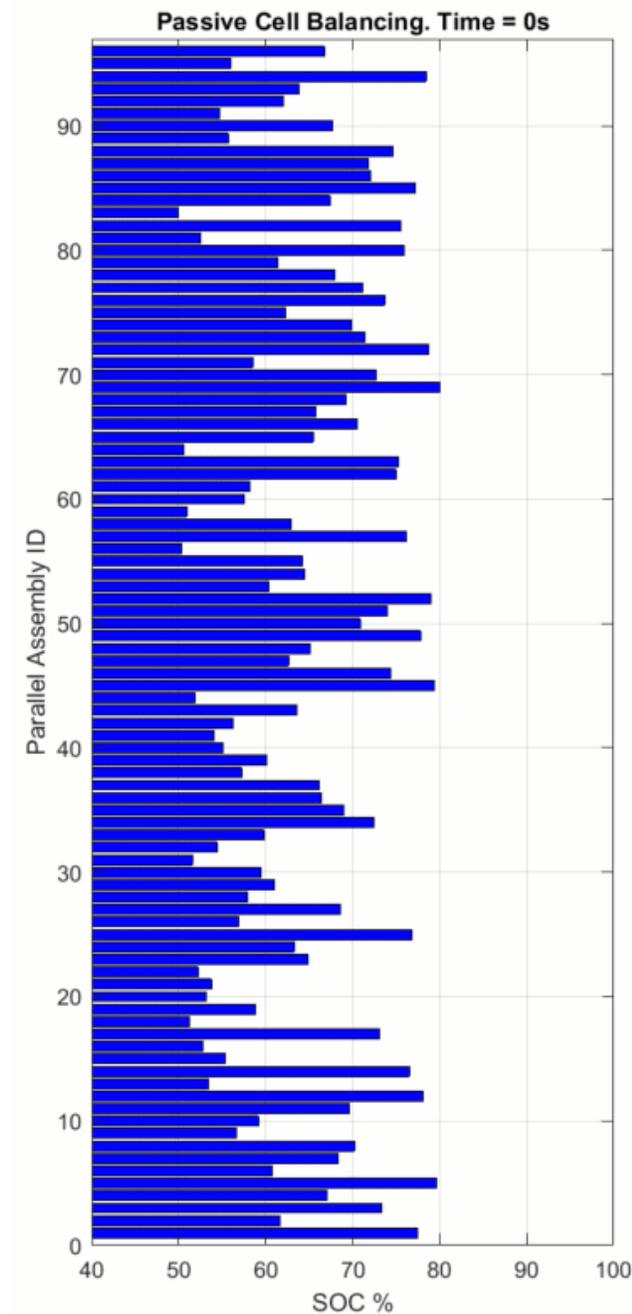
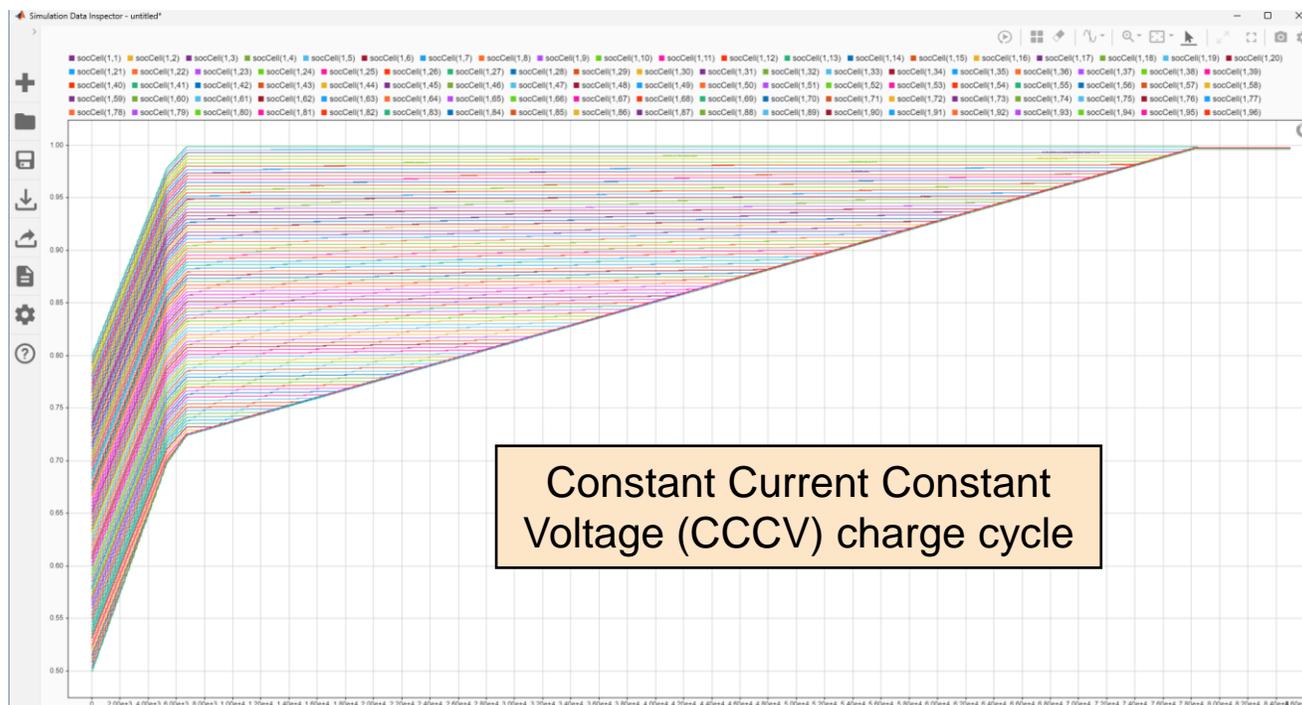
电池被动均衡

- 并联组件中的电池将自然均衡
- 每个并联组件配备一个电池均衡电路



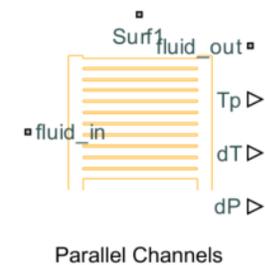
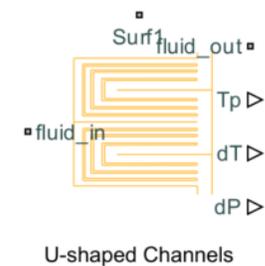
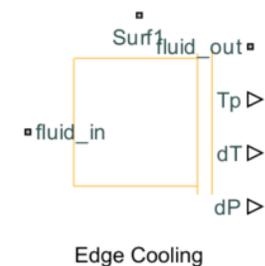
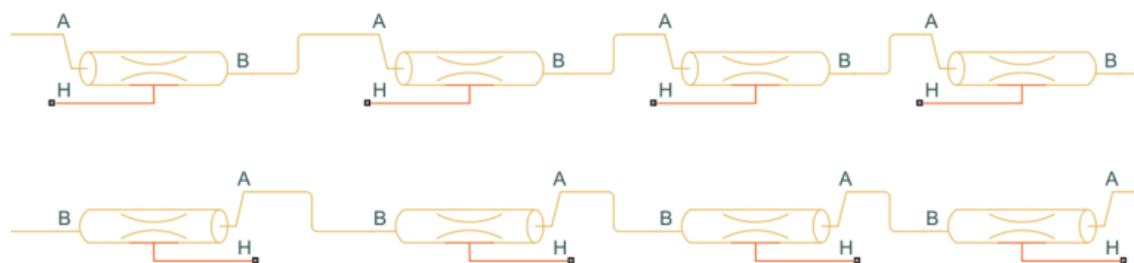
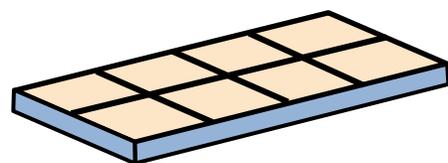
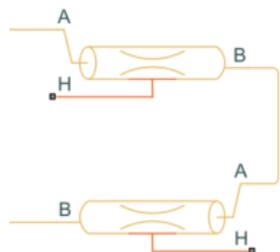
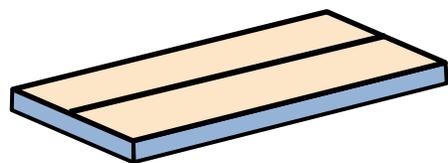
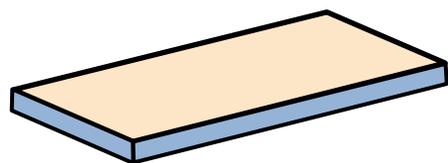
电池被动均衡

- 使用可视化更清晰展示大量电池的均衡情况



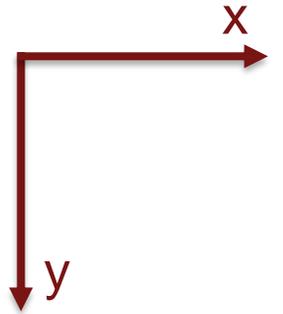
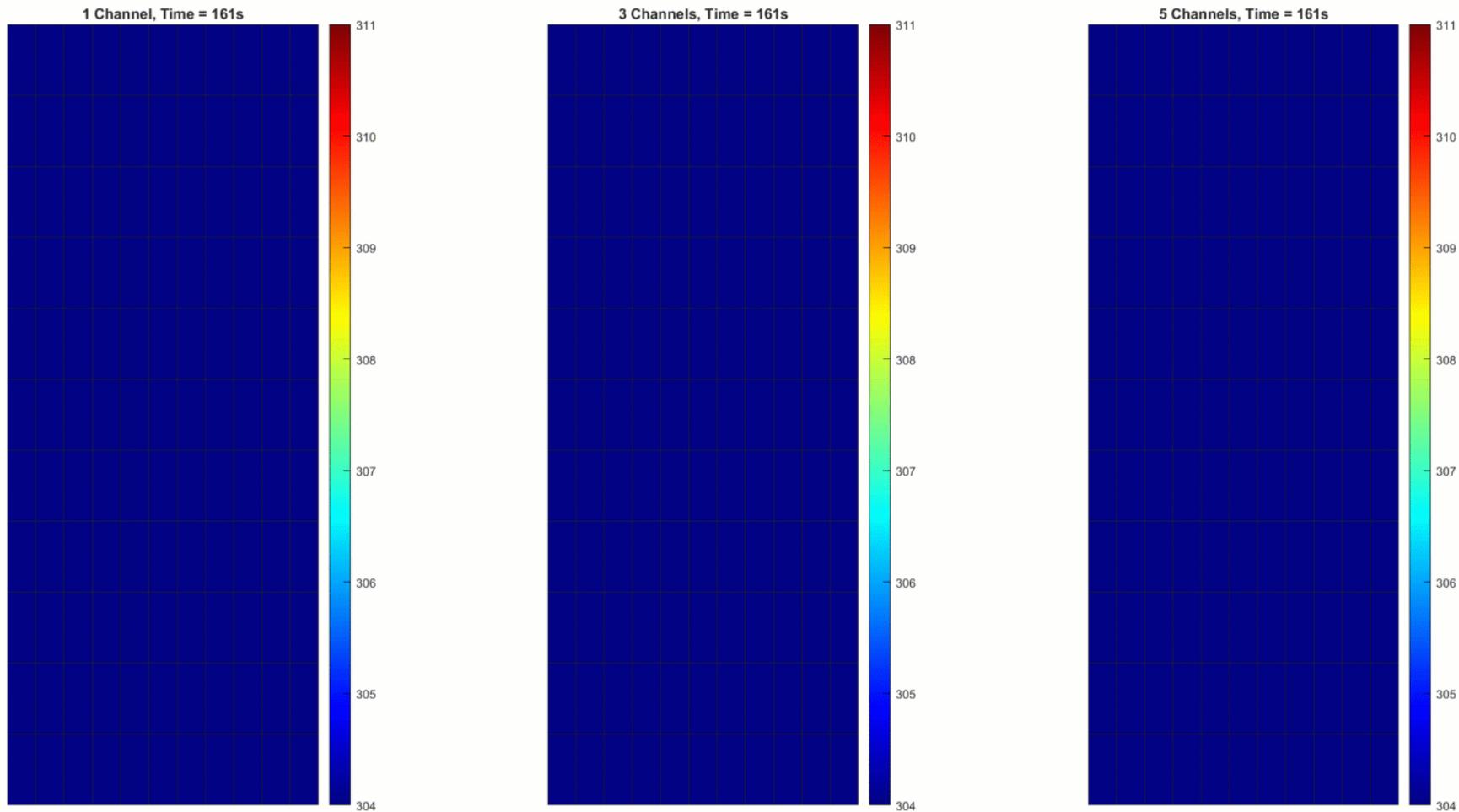
热管理

- 更改冷却板的仿真策略以满足模型颗粒度需求
- 连接方式取决于冷却板架构



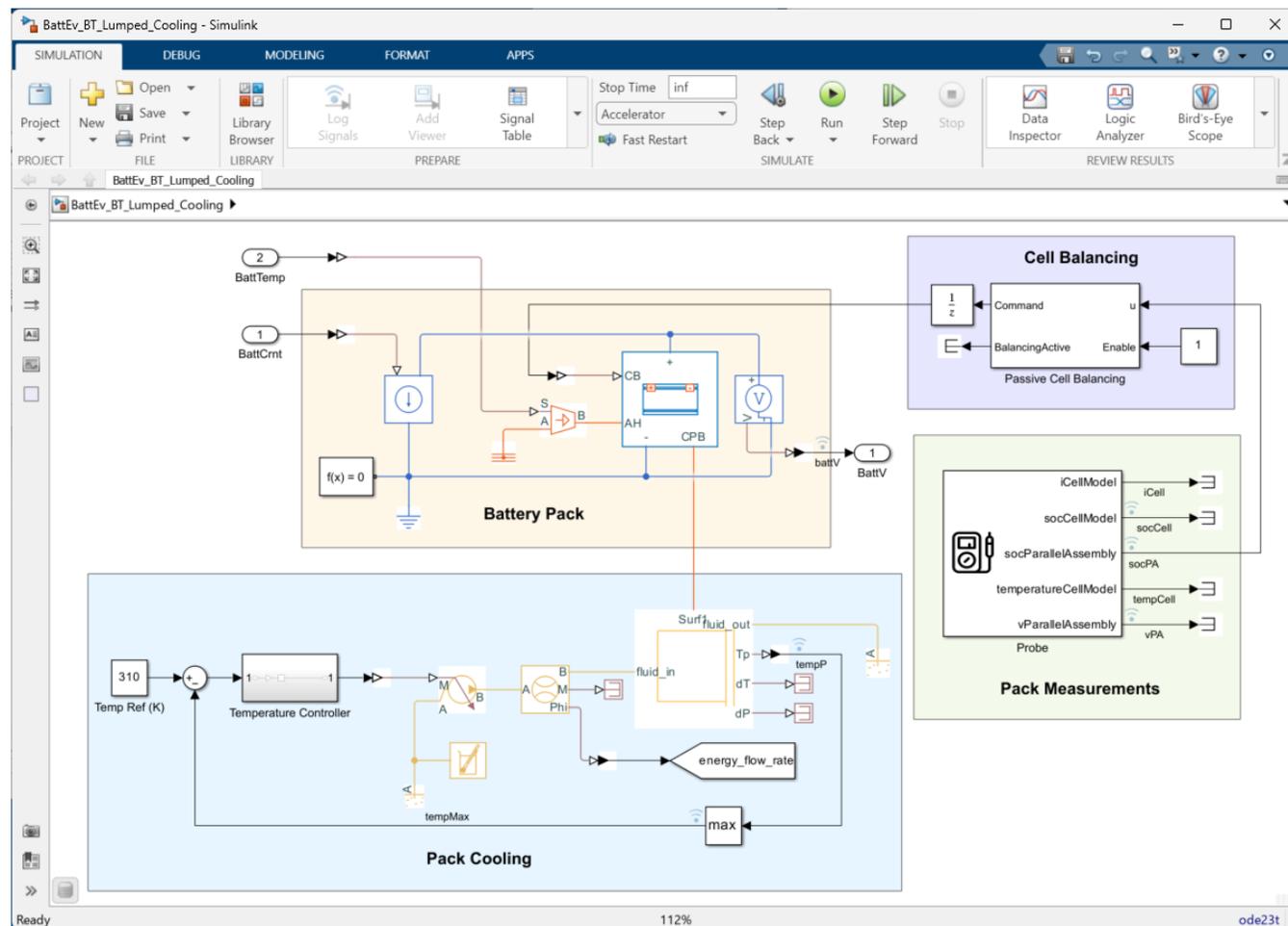
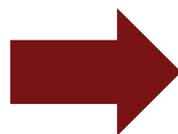
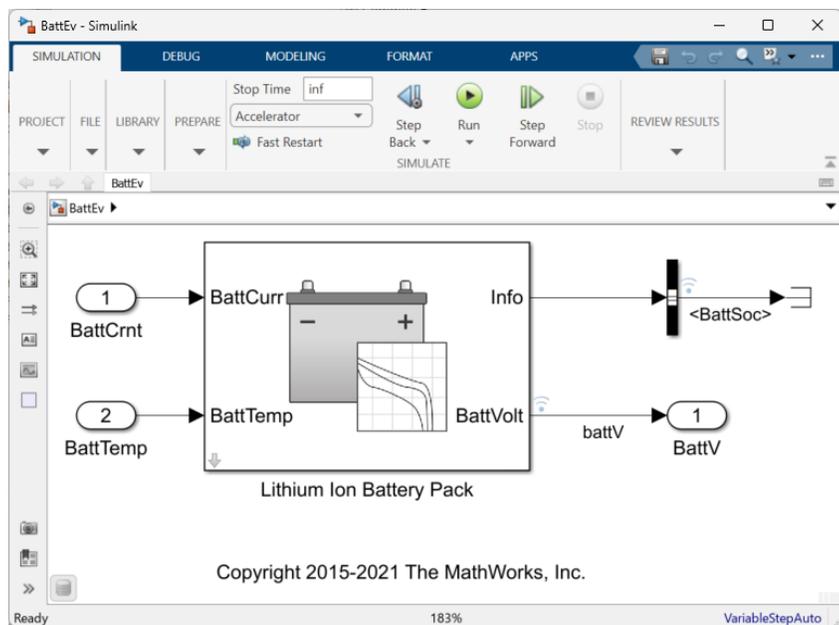
热管理

沿 x 轴定向的平行冷却通道



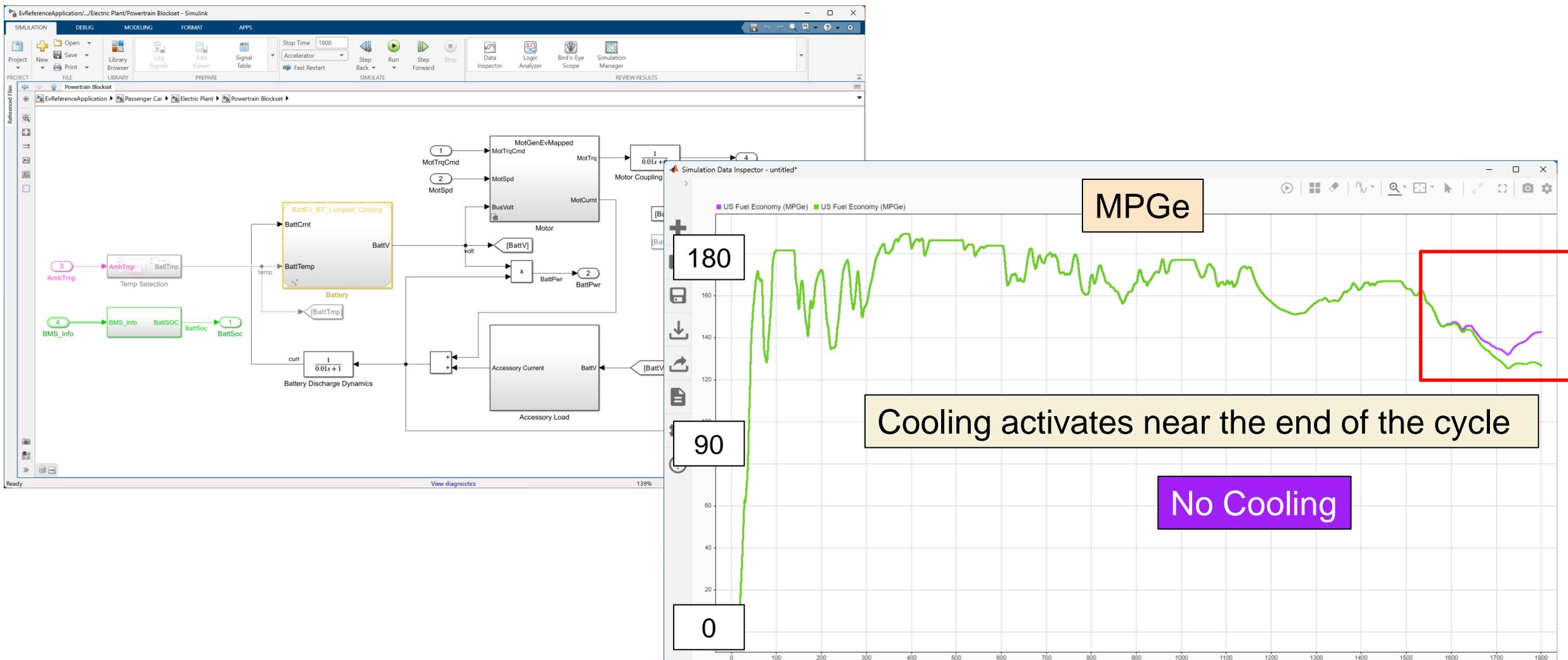
为完整的系统评估选择合适的模型精度

- 在许多情况下，集总电池模型足以进行系统集成
- 可以根据需要合并其他精度



评估整个系统中的电池设计

WLTP (Class 3) drive cycle (MPGe)



关键点

使用仿真优化电动汽车电池性能



MATLAB EXPO

谢谢!



© 2023 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.